


## TUNNEL MAGNETORESISTANCE EFFECT TYPE MAGNETIC FIELD DETECTING DEVICE, ITS PRODUCTION AND MAGNETIC HEAD USING THE SAME

Patent Number: JP2000322714  
Publication date: 2000-11-24  
Inventor(s): TAKEUCHI TERUAKI; NAKATANI RYOICHI; SHIMIZU NOBORU  
Applicant(s): HITACHI LTD  
Requested Patent:  JP2000322714  
Application Number: JP19990133410 19990514  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G11B5/39  
EC Classification:  
Equivalents:

### Abstract

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain low electric resistance and high S/N characteristics by forming a layer consisting of elements selected from a group of specified noble metals or alloys of these between an insulating layer and one of ferromagnetic metal layers which form a tunnel junction.

**SOLUTION:** A thermally oxidized layer 2, first ferromagnetic layer 3, noble metal layer 4, insulating layer 5, and second ferromagnetic layer 6 are laminated in this order on a silicon substrate 1 to form a tunnel junction, and further, an insulating material 2' as a protective film and an electrode 7 are formed to obtain a tunnel magnetoresistance effect element. The noble metal layer 4 consists of elements selected from a group of noble metal elements of Au, Pt, Pd, Rh, Ir and Ru or allots of these, and is formed to 0.4 to 1.0 nm thickness. The insulating layer 5 is formed by first forming an Al or Mg metal film on the noble metal layer 4 and selectively oxidizing the surface of the metal film. In this process, since the noble metal layer 4 and the first ferromagnetic layer 3 under the layer 4 are not oxidized, the thickness of the insulating layer 5 is limited to within the thickness of the Al or Mg metal film, and thus, a desired thin film can be obtd.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-322714  
(P2000-322714A)

(43) 公開日 平成12年11月24日 (2000. 11. 24)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

テ-マ-ト<sup>7</sup> (参考)

5 D 0 3 4

審査請求 有 請求項の数16 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平11-133410

(22) 出願日 平成11年5月14日 (1999. 5. 14)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 竹内 輝明

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 中谷 亮一

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100061893

弁理士 高橋 明夫 (外1名)

最終頁に続く

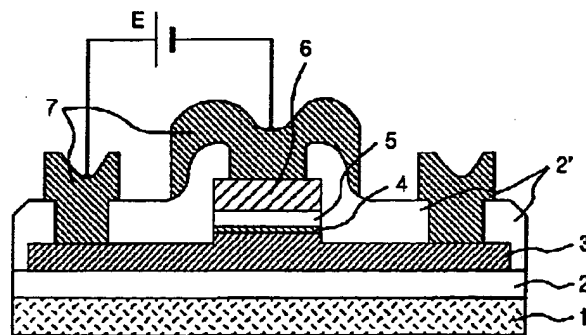
(54) 【発明の名称】 トンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子及びその製造方法とそれを用いた磁気ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 高い磁気抵抗変化率を維持しつつ、電気抵抗が低く信号対雑音比 (S/N) の大きいトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子を実現する。

【解決手段】 第1の強磁性層3の上に貴金属層4を設け、この上に非常に薄いアルミニウム等の金属膜を形成し、それ酸化して絶縁層5を形成する。アルミニウムの酸化処理では、酸化反応が貴金属層4で停止し、その下の強磁性層3には及ばない。このため、絶縁層5の厚さが上記アルミニウム等の金属膜が酸化された層に限定される。さらに、この方法では、下地の強磁性層3が酸化されないので、予め厚さの定められた金属膜を確実に酸化して高品質の絶縁層とすることができる。このため、トンネル効果における電子に対するポテンシャル障壁を高く、かつ薄くすることができ、高い磁気抵抗変化率と低い電気抵抗が両立して実現される。

図 1



1…基板 2…熱酸化層 2'…絶縁体 (SiO<sub>2</sub>)  
3…第1の強磁性層 4…貴金属層 5…絶縁層  
6…第2の強磁性層 6 1…分極率の高い磁性層  
7…電極 8…反強磁性層 E…定電圧電源

# 【特許請求の範囲】

【請求項1】互いに磁化反転する磁界に差のある二つの強磁性金属層の間に絶縁層が存在してトンネル接合を形成するトンネル磁気抵抗効果素子と、前記二つの強磁性金属層間に電圧を印加する電極端子とを備えた磁界検出素子において、一方の強磁性金属層と絶縁層との間に、Au, Pt, Pd, Rh, Ir及びRuの貴金属元素群から選択される少なくとも1種類の元素もしくはこれらの元素の合金からなる貴金属層を設けたことを特徴とするトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子。

【請求項2】上記貴金属層の厚さが1.5nm以下であることを特徴とする請求項1記載のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子。

【請求項3】上記絶縁層の厚さが3.0nm以下であることを特徴とする請求項1もしくは2記載のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子。

【請求項4】上記絶縁層の厚さが0.6~0.9nmであることを特徴とする請求項1もしくは2記載のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子。

【請求項5】上記絶縁層は、上記強磁性金属層に対するポテンシャル障壁の高さが少なくとも1電子ボルトの金属酸化物層からなることを特徴とする請求項1もしくは2記載のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子。

【請求項6】上記絶縁層が、アルミニウム及びマグネシウムの少なくとも1種の金属酸化物からなることを特徴とする請求項1乃至5いずれか一つに記載のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子。

【請求項7】互いに磁化反転する磁界に差のある二つの強磁性金属層の間に絶縁層が存在してトンネル接合を形成するトンネル磁気抵抗効果素子と、前記二つの強磁性金属層間に電圧を印加する電極端子とを備えた磁界検出素子の製造方法において、前記いずれか一方の強磁性金属層上に絶縁層を形成する工程を、

①前記強磁性金属層上に下地層として厚さ1.5nm以下のAu, Pt, Pd, Rh, Ir及びRuの貴金属元素群から選択される少なくとも1種類の元素もしくはこれらの元素の合金からなる貴金属層を形成する工程と、  
②前記貴金属層上に、酸化することによって容易に絶縁層となり、かつこの絶縁層の前記強磁性金属層に対するポテンシャル障壁の高さが少なくとも1電子ボルトである膜厚3nm以下の金属膜を形成し、前記貴金属層を前記強磁性金属層の酸化防止膜として保護しつつ前記金属膜を選択的に酸化して酸化物層に変換する絶縁層の形成工程とで構成したことを特徴とするトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子の製造方法。

【請求項8】上記金属膜をの厚さを0.6~0.9nmとしたことを特徴とする請求項7記載のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子の製造方法。

【請求項9】上記金属膜を、アルミニウム及びマグネシウムの少なくとも1種の金属層で形成し、これを酸化し

て酸化物層に変換する絶縁層の形成工程を有することを特徴とする請求項7もしくは8記載のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子の製造方法。

【請求項10】上記貴金属層及び上記金属膜の形成は、真空蒸着法もしくはスパッタリング法で形成し、前記金属膜を酸化して酸化物層に変換する絶縁層の形成工程は、酸素雰囲気中の自然酸化処理、熱酸化処理もしくはプラズマ酸化処理のいずれかの酸化処理工程としたことを特徴とする請求項7乃至9のいずれか一つに記載のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子の製造方法。

【請求項11】互いに磁化反転する磁界に差のある二つの強磁性層の間に絶縁層が存在してトンネル接合を形成するトンネル磁気抵抗効果素子と、前記二つの強磁性層間に電圧を印加する電極端子を有する磁界検出素子と、前記電極端子を通して前記二つの強磁性層間に所定の電圧を印加する定電圧電源とを備えた磁気ヘッドにおいて、前記一方の強磁性層と絶縁層との間に、Au, Pt, Pd, Rh, Ir及びRuの貴金属元素群から選択される少なくとも1種類の元素もしくはこれらの元素の合金からなる貴金属層を設けると共に、前記貴金属層上に形成される前記絶縁層として、前記強磁性金属層に対するポテンシャル障壁の高さが少なくとも1電子ボルトである絶縁層を設けたことを特徴とするトンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項12】上記貴金属層の厚さが1.5nm以下であり、上記絶縁層の厚さが3nm以下であることを特徴とする請求項11記載のトンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項13】上記貴金属層の厚さが1.5nm以下であり、上記絶縁層の厚さが0.4~1.0nmであることを特徴とする請求項11記載のトンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項14】上記絶縁層が、アルミニウム及びマグネシウムの少なくとも1種の金属酸化物からなることを特徴とする請求項11乃至13のいずれか一つに記載のトンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項15】請求項11乃至14のいずれか一つに記載のトンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドと誘導型磁気ヘッドとを組み合わせる構成した記録再生磁気ヘッド。

【請求項16】請求項11乃至15のいずれか一つに記載の磁気ヘッドを備えた磁気記録再生装置。

## 【発明の詳細な説明】

### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、トンネル磁気抵抗効果膜を用いた磁界検出素子及びその製造方法とそれを用いた磁気ヘッド並びにこの磁気ヘッドを備えた磁気記録再生装置に関する。

### 【0002】

【従来の技術】現在実用化されている磁気ディスク装置において、磁気ディスクに記録された情報を再生するた

めに用いられる再生用磁気ヘッドには、例えばNi-Fe膜等に生じる異方性磁気抵抗効果(AMR)膜を用いた磁気ヘッド(以下、この種のヘッドをAMRヘッドという)が広く用いられている。

【0003】この磁気ヘッドの場合、磁気抵抗変化率は約2%である。さらに、最近、磁気特性の異なる二つの強磁性層で非磁性金属層を挟んだ構造の巨大磁気抵抗効果(GMR)膜を用いた磁気ヘッド(以下、この種のヘッドをGMRヘッドという)も実用化され始めた。

【0004】このGMRヘッドの磁気抵抗変化率は4~5%で、上述のAMRヘッドより高感度である。このため、より小さな磁区からの磁気情報を検出することが可能となり、1平方インチあたり10ギガビットの密度の記録も可能となる。しかしながら、今後、記録密度を大幅に向上させるには、さらに大きな磁気抵抗変化率を有する再生用磁気ヘッドが必要となる。

【0005】このような高い磁気抵抗変化率を有する磁気抵抗効果膜として、二つの強磁性層の間に絶縁層が挟まれた構造のトンネル接合を含むトンネル磁気抵抗効果膜が注目されている。この膜では、例えば、ジャーナル・オブ・マグネティズム・アンド・マグネティック・マテリアルズ第139巻、L231ページ(1995年発行)に示されたように、鉄の薄膜の間にアルミニウム酸化層が挟まれた構造のトンネル磁気抵抗効果膜において18%の磁気抵抗変化率が得られた等、大きな磁気抵抗変化率が報告されている。

【0006】このように、トンネル磁気抵抗効果膜は、大きな磁気抵抗変化率を生じるため、高感度の磁界検出素子として、特に磁気ヘッドの再生用ヘッドとして応用すれば有望であり、1平方インチ当たり40ギガビットなどの高密度記録再生への適用が期待される。

【0007】このトンネル磁気抵抗効果膜を高密度記録再生用磁気ヘッド(以下、トンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドという)に適用するには、トンネル接合部の寸法(詳しくは絶縁層が強磁性層と接触する面積)を $1\mu\text{m}^2$ 程度あるいはこれより小さくする必要がある。ここで、電気抵抗は、接合部の面積に比例するため、微小な接合部を形成した場合には非常に高く、一般に、前述のAMRヘッドの1千倍以上もの抵抗値を示す。

【0008】このため、トンネル磁気抵抗効果型磁気ヘッドでは現在広く用いられているAMRヘッド用駆動回路を用いることができず、また、熱雑音が大きいために信号対雑音比(S/N)が小さくなるという問題が明らかとなってきた。

【0009】すなわち、磁気抵抗変化率は高くとも、電気抵抗が高く、信号対雑音比(S/N)が小さいため、このままでは、高感度の磁界検出素子、特に磁気ディスクなどの高密度磁気記録媒体の再生用磁気ヘッドとして適用することは不可能である。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】したがって、本発明の目的は、上記従来の問題を解消することにより、トンネル磁気抵抗効果膜の高い磁気抵抗変化率を保持したまま、十分に低い電気抵抗値を有するトンネル磁気抵抗効果膜を用いた高感度の磁界検出素子及びその製造方法とこれを用いた磁気ヘッド並びにこの磁気ヘッドを備えた磁気記録再生装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】トンネル磁気抵抗効果膜を用いた磁界検出素子や磁気ヘッド(以下、これらをトンネル磁気抵抗効果素子と称する)は、前述のAMR及びGMRの素子とは異なり、二つの強磁性金属層(以下、単に強磁性層と略称する)の間に薄い絶縁層が挟持された積層構造からなり、これら両強磁性層間に電極端子を介して一定の電圧を印加する構成を有するものである。すなわち、電圧を両強磁性層の積層膜面垂直方向に印加し、両強磁性層の磁化方向の間の角度が外部磁界によって互いに变化した時に膜面垂直方向に流れる電流、すなわち、薄い絶縁層を介して一方の電極から他方の電極に流れる電流(トンネル電流)が変化することを利用するものである。

【0012】トンネル磁気抵抗効果素子における抵抗値は、接合部寸法(絶縁層の面積、つまり絶縁層が強磁性層に接触する面積)の他、絶縁層固有の特性にも依存する。絶縁層は、電子が膜面垂直方向に進行する場合にポテンシャル障壁として働き、ポテンシャル障壁の高さと厚さにより抵抗値が決まる。

【0013】電気抵抗の観点からは、一般に、ポテンシャル障壁の高さを低く、厚さを薄くすることが低抵抗化の条件となる。しかし、磁気抵抗変化率に関しては、ポテンシャル障壁の高い方が、大きな値が得られる。このため、ポテンシャル障壁高さを調整しても、高い磁気抵抗変化率と低い抵抗値とを両立させることは困難である。このため、本発明においては、ポテンシャル障壁の高さは低下させず、障壁の厚さを大幅に減少することにより、大きな磁気抵抗変化率を保持しながら、抵抗値を減少させる方法を用いた。

【0014】ポテンシャル障壁の厚さを減少することは、絶縁層の厚さを減少することに対応し、スパッタ法などの成膜技術で絶縁体自体を強磁性層の上に被着した絶縁層を形成する場合には、被着層の厚さを減少することが必要となる。

【0015】しかし、絶縁体自体を強磁性層上に直接被着する方法で絶縁層の厚さを1.5nm程度より小にすると、絶縁層中にピンホールが生じ、トンネル効果を経ずに移動する電子が存在するため、磁気抵抗変化率が極めて小さくなってしまふ。

【0016】このため、絶縁体自体を強磁性層上に直接被着する方法は適当ではなく、予めアルミニウムやマグネシウム等の金属膜を強磁性層の上に形成し、これを酸

化する等の反応により絶縁層を形成することが一般的である。

【0017】金属膜を酸化する方法により絶縁層を形成する場合、アルミニウムやマグネシウム等の金属膜が厚いと、この膜全体が反応して絶縁体になると絶縁層が厚くなるため適当ではない。絶縁層を薄くするためには、この金属層の表面近傍のみを部分的に反応させる必要があり、そのためには、酸素ガス圧を低くするなどの条件が必要となる。

【0018】しかし、このような条件では、絶縁層は薄くなっても、その中で反応が十分ではないために、未反応の金属元素の比率が高く、ポテンシャル障壁が低くなり、磁気抵抗変化率が低くなるという問題が生じた。

【0019】このように、絶縁層を形成する際にアルミニウムやマグネシウム等の金属膜が厚いと、反応の条件を選んでもポテンシャル障壁の高さを大とし、同時に厚さを小にするということが困難である。

【0020】一方、酸化などの反応により絶縁層となるアルミニウムやマグネシウム等の金属膜を単に薄くした場合には、この金属膜を通り越して反応が進み、これに隣接する強磁性層の一部にまで反応が及ぶ。強磁性物質としては、鉄、ニッケル、コバルト等の強磁性金属あるいはこれらの合金が通常用いられ、これらの強磁性物質も、反応すると絶縁層となる。このため、酸化などの反応により絶縁層となるアルミニウムやマグネシウム等の金属膜を単に薄くしても、実際には、強磁性金属の反応層も含めたものが絶縁層となるため、絶縁層全体としての厚さは大きなものとなる。

【0021】以上のように、アルミニウムやマグネシウム等の金属膜を強磁性層の上に形成し、これを酸化する等の反応により絶縁層を形成する場合、この金属膜の厚さによらず、ポテンシャル障壁の高さを大にし、かつ厚さを小にすることは困難である。すなわち、この方法では、高い磁気抵抗変化率と低い電気抵抗とを両立することが困難である。

【0022】本発明者等は、このような困難を克服するために種々実験検討した。その結果、強磁性層の上に、十分に薄い貴金属の層をまず形成し、その上に、酸化等の反応により絶縁層として用いるアルミニウムやマグネシウム等の金属膜を形成し、酸素雰囲気中での自然酸化、キュリー点を越えない範囲の加熱温度での熱酸化、さらには十分に強い反応条件で、酸素等と反応させて未反応の金属元素の残留率が数%以下の絶縁層とすることが可能であることを確認した。好ましい条件では、完全に金属膜を酸化して100%酸化物から構成される絶縁層とすることもできた。

【0023】この方法を用いると、アルミニウムやマグネシウム等の金属膜は十分に反応し、高いポテンシャル障壁を有する絶縁層が形成される。しかし、酸素等との反応は、下地となる貴金属層で停止するため、酸化反応

する領域は、上記アルミニウムやマグネシウム等の金属膜のみに限られ、その下の強磁性層の反応は防止される。すなわち、貴金属層はその上に形成した金属膜を酸化して絶縁層とする際に、下地の強磁性層の酸化を防止するための保護層として機能する。

【0024】このため、アルミニウムやマグネシウム等の酸素と反応して絶縁層が形成される金属膜の厚さを十分薄くしておけば、絶縁層の厚さを十分薄くすることが可能となり、ポテンシャル障壁を薄くすることができる。

【0025】これまでの実験結果から判断すると、ポテンシャル障壁の厚さは3.0nm以下、好ましくは0.6~0.9nm程度、高さは少なくとも1電子ボルト以上、望ましくは2~3電子ボルト程度まで欲しいところである。3電子ボルトはなかなか得られ難いが、2.2電子ボルト程度であればアルミニウムの酸化物で容易に得られる。

【0026】ここで、ポテンシャル障壁の高さは、絶縁層において酸素等と反応していない金属元素の量に関係し、2電子ボルト以上のポテンシャル障壁高さは、未反応の金属元素の比率が6%以下であることに対応する。上述の膜構成とし、さらに、酸素ガス圧を高く酸化時間を長くするなど金属膜を十分に反応させる条件を用いることにより、このようなポテンシャル障壁に関する条件を満たすことが可能となり、高い磁気抵抗変化率と低い電気抵抗とを両立することが可能となる。

【0027】また、上記貴金属層の存在による影響は、これを十分に薄くしておけば、磁気抵抗変化率の低下は無視できる。貴金属層の好ましい厚さは、アルミニウムやマグネシウム等の金属膜を酸化して絶縁層を形成する際に、一方では強磁性層の酸化防止機能を考慮し、他方では金属膜が十分に酸化されて品質の良好な絶縁層が得られる条件を満たすものでなければならない。

【0028】本発明者等の実験検討によれば、貴金属層の好ましい膜厚の上限は、1.5nm程度、下限は0.24nm程度で少なくとも1原子層以上は必要であり、実用的に特に好ましい膜厚は0.4~1.0nmである。

【0029】なお、貴金属層としては、Au, Pt, Pd, Rh, Ir及びRuの元素群から選択される少なくとも1種類の貴金属元素あるいはこれらの合金の層が適用される。

【0030】本発明は、以上説明したトンネル磁気抵抗効果素子に関する検討結果をもとになされたものであり、上記本発明の目的を達成することのできる発明の特徴を以下に具体的に説明する。

【0031】(1) 先ず、本発明のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子は、互いに磁化反転する磁界に差のある二つの強磁性金属層の間に絶縁層が存在してトンネル接合を形成するトンネル磁気抵抗効果素子と、前記二つ

の強磁性金属層間に電圧を印加する電極端子とを備えた磁界検出素子において、一方の強磁性金属層と絶縁層との間に、Au, Pt, Pd, Rh, Ir及びRuの貴金属元素群から選択される少なくとも1種類の元素もしくはこれらの元素の合金からなる貴金属層を設けたことを特徴とする。

【0032】上記貴金属層の厚さは1.5nm以下であることが望ましく、より好ましくは0.4~1.0nmである。

【0033】また、上記絶縁層の厚さは3.0nm以下であることが望ましく、より好ましくは0.6~0.9nmである。すなわち、絶縁層の厚さを強磁性膜に対する絶縁層のポテンシャル障壁の高さに表わすと、少なくとも1電子ボルト以上、望ましくは2~3電子ボルト程度まで欲しいところである。3電子ボルトはなかなか得られ難いが、2.2電子ボルト程度であればアルミニウムの酸化物で容易に得られる。このような絶縁層を構成する代表的なものとして、アルミニウム及びマグネシウムの少なくとも1種の金属酸化物が挙げられる。

【0034】(2)このようなトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子を製造する発明の製造方法は、互いに磁化反転する磁界に差のある二つの強磁性金属層の間に絶縁層が存在してトンネル接合を形成するトンネル磁気抵抗効果素子と、前記二つの強磁性金属層間に電圧を印加する電極端子とを備えた磁界検出素子の製造方法において、前記いずれか一方の強磁性金属層上に絶縁層を形成する工程を、①前記強磁性金属層上に下地層として厚さ1.5nm以下のAu, Pt, Pd, Rh, Ir及びRuの貴金属元素群から選択される少なくとも1種類の元素もしくはこれらの元素の合金からなる貴金属層を形成する工程と、②前記貴金属層上に、酸化することによって容易に絶縁層となり、かつこの絶縁層の前記強磁性金属層に対するポテンシャル障壁の高さが少なくとも1電子ボルトである膜厚3nm以下の金属膜を形成し、前記貴金属層を前記強磁性金属層の酸化防止膜として保護しつつ前記金属膜を選択的に酸化して酸化物層に変換する絶縁層の形成工程とで構成したことを特徴とする。

【0035】上記貴金属層及び上記金属膜の形成は、真空蒸着法もしくはスパッタリング法で容易に形成することができる。また、前記金属膜を酸化して酸化物層に変換する絶縁層の形成工程は、酸素雰囲気中の自然酸化処理、熱酸化処理もしくはプラズマ酸化処理のいずれかの酸化処理工程とすることができる。

【0036】なかでも、プラズマ酸化処理は、他の処理法に比較して処理時間が短くても確実に金属膜を酸化でき、良好な絶縁層が得られ好ましい。この場合の好ましい条件として、例えば酸素ガス圧0.8~2.5 Torr、電力200~500W、処理時間10秒~3分が挙げられる。

【0037】(3)上記トンネル磁気抵抗効果型磁界検

出素子を応用した本発明の磁気ヘッドは、互いに磁化反転する磁界に差のある二つの強磁性層の間に絶縁層が存在してトンネル接合を形成するトンネル磁気抵抗効果素子と、前記二つの強磁性層間に電圧を印加する電極端子を有する磁界検出素子と、前記電極端子を通して前記二つの強磁性層間に所定の電圧を印加する定電圧電源とを備えた磁気ヘッドにおいて、前記一方の強磁性層と絶縁層との間に、Au, Pt, Pd, Rh, Ir及びRuの貴金属元素群から選択される少なくとも1種類の元素もしくはこれらの元素の合金からなる貴金属層を設けると共に、前記貴金属層上に形成される前記絶縁層として、前記強磁性金属層に対するポテンシャル障壁の高さが少なくとも1電子ボルトである絶縁層を設けたことを特徴とする。

【0038】この磁気ヘッドは再生用磁気ヘッドであるが、これと周知の磁気誘導型磁気ヘッドとを組み合わせることにより容易に記録再生磁気ヘッドが実現できる。

【0039】(4)そして、この記録再生磁気ヘッドは、高密度記録再生を可能とするものであるため、高密度磁気記録媒体と組み合わせて、優れた磁気記録再生特性を有する磁気記録再生装置を実現することができる。

【0040】

【発明の実施の形態】図1は、本発明によるトンネル磁気抵抗効果素子の基本構造を模式的に示した断面図である。ここで、1はシリコン基板(100)で、2はこの上に設けた熱酸化膜( $\text{SiO}_2$ )、3は第1の強磁性膜、4は貴金属層、5は絶縁層、6は第2の強磁性層、2'は保護膜となる絶縁体、7は、第1の強磁性膜3と第2の磁性層6との間に電圧を印加するためのAu電極である。

【0041】上記構造において、本発明の特徴は第1の強磁性膜3の上に貴金属層4を介して絶縁層5を設けた点にある。まず、貴金属層4としては、Au, Pt, Pd, Rh, Ir及びRuの貴金属元素群から選択される少なくとも1種類の元素もしくはこれらの元素の合金からなる貴金属層が形成される。

【0042】貴金属層4の膜厚は、後述するように酸化処理を経る絶縁層5の形成工程時に、下地となる第1の強磁性膜3(磁性金属)に対し酸化防止効果を有する厚さであれば極力薄いことが望ましく、上限は1.5nm、下限は酸化防止効果のある最低の膜厚で1原子層以上の0.24nm程度であり、実用的には0.4~1.0nmの膜厚が好ましい。

【0043】また、貴金属層4は、酸化防止効果のみならず、固有抵抗が小さいので電子スピンの情報を維持した状態でトンネル電流を流すことができ、結果として高い磁気抵抗変化率を維持しながら、トンネル磁気抵抗効果型磁気検出素子の電気抵抗低減に寄与している。

【0044】絶縁層5は、貴金属層4上に予め例えばAlやMg等の金属膜を形成しておき、これを表面から選

択的に酸化して形成したものである。すなわち、貴金属層4上に予め形成したAlやMg等の金属膜を表面から酸化した場合、この金属膜は選択的に酸化され、絶縁層が形成されるが、貴金属層4およびその下の第1の強磁性層3は酸化されないため、絶縁層の厚さは、AlやMg等の金属膜が酸化された領域に制限され、十分に薄い絶縁層5が設計通りの厚さで確実に形成される。

【0045】また、この金属膜の酸化においては貴金属層4の酸化防止効果で十分な酸化が可能のため、高いポテンシャル障壁が形成される。

【0046】この絶縁層4の厚さは、強磁性層に対するポテンシャル障壁の高さが少なくとも1電子ボルトである膜厚3nm以下、好ましくは0.6~0.9nmである。

【0047】また、第1、第2の強磁性層3、6は、それぞれ互いに磁化反転する磁界に差のある磁性層からなり、第1の強磁性層3は、例えばCo-17at%Pt合金等のCo系（硬磁性層）、第2の強磁性層6は、例えばNi-20at%Fe合金等のNi-Fe系（軟磁性層）の磁性層を真空蒸着もしくはスパッタリングで形成する。これら両強磁性層3、6の磁気特性として、保磁力及び磁気異方性には、第1の磁性層3>第2の磁性層6の関係が要求される。

【0048】電極7は、必ずしもAuである必要はないが、耐食性と良好な導電性を有するものであれば他の金属でもよい。

【0049】なお、第1の磁性層3の下地に、Ni-O等の反強磁性層を形成し、強磁性層3に一方向の磁気異方性を与える構成としてもよい。

【0050】このトンネル磁気抵抗効果素子をトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子もしくは磁気ヘッドとするに際しては、第1、第2の強磁性層3、6に接続されたAu電極7を、定電圧源Eに接続して所定の電圧を印加すればよい。定電圧源Eとしては、直流電源が一般的であるが、交流もしくはパルス電源であってもよい。

【0051】このトンネル磁気抵抗効果素子は、金属膜の酸化処理による絶縁層の形成方法を除き、周知の成膜技術と周知のリソグラフィ技術によるパターン形成技術による製造方法によって容易に得ることができる。

【0052】

【実施例】以下、図面にしたがって本発明の実施例を具体的に説明する。

〈実施例1〉図1は、本発明の磁気抵抗効果型磁界検出素子及び磁気ヘッド素子の構造を示す断面図である。この図に示したように、SiO<sub>2</sub>からなる厚さ400nmの熱酸化膜2を有するシリコン単結晶基板〔Si(100)〕1上に、まず、第1の磁性層3として膜厚30nmのCo-17at%Pt層（硬磁性層）、貴金属層4として膜厚1.0nmのAu層、金属層5として膜厚0.6nmのAl膜、を順次スパッタリングで形成し

た。

【0053】この状態で最上層のAl膜を、プラズマ酸化法で酸化して絶縁層5を形成した。ここで、酸素ガス圧は1mTorrとし、300Wの投入電力の下で1分間酸化した。

【0054】次いで、この絶縁層5上に第2の強磁性層6として膜厚15nmのNi-20at%Fe層（軟磁性層）を同じくスパッタリングで形成した。

【0055】こうして得られた積層体にフォトリソを形成し、周知のリソグラフィ工程によって第1の磁性層3が露出し、これがわずかにエッチングされる深さまで加工し、凸状の所定パターンを形成する。

【0056】次いで、SiO<sub>2</sub>からなる絶縁体2'をスパッタリングで形成し、さらに絶縁体2'にフォトリソを形成し、周知のリソグラフィ工程によって電極形成のための穴あけ加工を行い、第1の磁性層3と第2の磁性層6とを露出させる。

【0057】最後に、電極材であるAu層を蒸着もしくはスパッタリングで形成し、選択エッチングにより所定の電極パターン7を形成することにより、図1に示した磁気抵抗効果型磁気ヘッド素子を形成した。

【0058】絶縁層5の両側の第1、第2の磁性層3および6の間には電極7を介して電圧が印加されている。この磁気ヘッド素子の電気抵抗は、ほとんど絶縁層5を電流がトンネルする時の抵抗であるため、絶縁層5のトンネル抵抗以外の電気抵抗による電圧降下は無視できる。したがって、電極間に与えた電圧は、第1及び第2の磁性層3および6の間に印加されている電圧Eに等しいと考えてよい。

【0059】上述の多層膜では、第1の磁性層3を構成するCo-17at%Pt合金層の保磁力は第2の磁性層より高いため、磁気記録媒体からの磁界が印加されても、Co-17at%Pt合金層（第1の磁性層3）の磁化の向きは変化しない。

【0060】これに対し、第2の磁性層6を構成するNi-20at%Fe合金層の保磁力は第1の磁性層3より低いため、磁気記録媒体からの磁界が印加されると、Ni-20at%Fe合金層（第2の磁性層6）の磁化の向きが回転する。

【0061】第2の磁性層6であるNi-20at%Fe合金層の磁化の変化により上記絶縁層5をトンネルする電流が変化し、そのトンネル電流の変化により外部磁界の変化を検出することができる。

【0062】磁気抵抗変化率は、第1の磁性層3と第2の磁性層6との磁化が平行の場合と反平行の場合との電気抵抗の差で表わされ、この素子の例では磁気抵抗変化率が22%であった。

【0063】また、第1の磁性層3と第2の磁性層6との間の電気抵抗は、Au層4を設けない比較例では100kΩμm<sup>2</sup>であったのに対し、本実施例では2.5k

$\Omega\mu\text{m}^{-2}$ と $1/40$ に激減した。信号対雑音比(S/N)は比較例の2倍強であった。

【0064】本実施例に示した磁気抵抗効果型磁界検出素子を磁気ヘッドとして使用する場合、再生ヘッド専用となり、記録能力がない。したがって、記録と再生を行うためには、周知の記録用誘導型磁気ヘッドと組み合わせて使用する必要がある。

【0065】〈実施例2〉図2は、トンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子の断面図を模式的に示したものである。100nm厚の酸化層(不図示)付きのシリコン基板1上にイオンビームスパッタ法により図2に示す断面の基本構造を有するトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子を作製した。

【0066】基板1上に、反強磁性層8としてNiOを30nm厚で形成し、この上に、第1の強磁性層3として膜厚15nmのCo層を形成した。この上に、後述する絶縁層5を形成のための酸化過程において、酸化が第1の強磁性層3に及ぶことを防止するための貴金属層4として膜厚1.5nmのAu層を形成した。

【0067】この上に絶縁層5を形成するため、まず膜厚0.6nmのAl膜5' (不図示)を形成し、この状態で試料表面をプラズマ酸化法で酸化して絶縁層5を形成した。ここで、酸素ガス圧は1Torrとし、300Wの投入電力の下で1分間酸化した。

【0068】この上に、さらに、第2の強磁性層6として膜厚15nmのNi-Fe層を形成した。この後、トンネル磁気抵抗効果積層膜の2つの強磁性層3、6にそれぞれ電極端子7を取り付け両方の強磁性層の間に電圧を印加する構成として、トンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子の磁気特性を測定した。

【0069】図3は、図2に示したトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子の電極端子7に直流電源Eを接続し、両方の強磁性層3、6の間に電圧(V)を印加し流れる電流を測定した結果である。

【0070】ここで、縦軸は電流値を接合部面積(強磁性層3、6に対する絶縁層5の接触面積)で除した電流密度として表示した。この曲線を解析した結果、ここで形成された絶縁層5の電子に対するポテンシャル障壁の高さは2.1電子ボルトで厚さは0.8nmであることが分かった。

【0071】この試料に磁界を印可し、これを変化させた場合、反強磁性層8と結合し磁化方向が変化しにくいCo層(第1の強磁性層3)の磁化方向は変化しないが、保持力および磁気異方性の小さいNi-Fe層(第2の強磁性層6)の磁化方向は容易に変化し、両方の強磁性層の磁化方向のなす角度が変化する。これにより、磁気抵抗変化が生じる。その結果、磁界の変化が電圧の変化として検出され、出力される。

【0072】この試料において、両方の強磁性層3、6の磁化が平行の場合と反平行の場合との電気抵抗の差、

すなわち磁気抵抗変化率は22%であった。なお、前述の、絶縁層5における未反応の金属元素(ここではAl)比率は、この試料においては、1%以下であった。

【0073】また、第1の磁性層3と第2の磁性層6との間の電気抵抗は、Au層4を設けない比較例では $100\text{k}\Omega\mu\text{m}^{-2}$ であったのに対し、本実施例では $2.5\text{k}\Omega\mu\text{m}^{-2}$ と $1/40$ に激減した。信号対雑音比(S/N)は比較例の2.2倍であった。

【0074】上記実施例においては、貴金属層4としてAu層を用いたが、その他の貴金属としてPt, Pd, Rh, Ir, Ruを用いても同様の効果が見られた。

【0075】これら貴金属層4の厚さを増加すると、一般に磁気抵抗変化率が減少する傾向が見られた。これは一方の強磁性層から他方の強磁性層へ偏極電子が進行する際に、貴金属層で電子スピンの散乱され、スピン偏極状態が乱されるためと考えられる。この貴金属層の膜厚依存性は貴金属の種類によって異なっているが、貴金属層厚が1.5nm以下であれば、いずれの貴金属においても上記スピン散乱による影響は無視できた。

【0076】また、本実施例の場合、第1の強磁性層3の磁界方向を一定方向に固定するため、下地として膜厚30nmのNiOからなる反強磁性層8を設けたが、この種のものとしては、その他Fe-Mn系合金、Mn-Ir系合金及びMn-Pt等のMnと貴金属との合金などが用いられる。膜厚は一般に5~30nmが好ましい。なお、この反強磁性層8は実施例1の図1に示したように省略することもできる。

【0077】〈実施例3〉図4は、実施例2の第2の強磁性層6の下地に分極率が高い磁性層61を形成したトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子の断面図を模式的に示したものである。

【0078】磁気抵抗変化率は、絶縁層5のポテンシャル障壁の形状の他に第1、第2の強磁性層3、6の分極率にも関係し、分極率が高い方が磁気抵抗変化率が高い。実施例2では、一方の強磁性層(第2の強磁性層6)にNi-Feを用いたものであるが、本実施例においては、より高い磁気抵抗変化率を目指し、第2の強磁性層6であるNi-Fe層の下にも分極率の高いCo層61を設ける構成とした。

【0079】すなわち、図4に示すように、基板1上に膜厚30nmのNiOの反強磁性層8、第1の強磁性層である膜厚15nmのCoの強磁性層3を順に積層した上に膜厚1nmのRuの貴金属層4および膜厚0.7nmの絶縁層形成用のAl膜5' (不図示)を形成し、前述の条件でプラズマ酸化を行った。

【0080】この酸化過程で形成された絶縁層5の上に膜厚2nmのCo層61、および膜厚15nmのNi-Fe層6を順に形成した。

【0081】ここで、分極率が高い磁性層であるCo層61の磁化と第2の強磁性層6であるNi-Fe層6の



磁化の方向は一致するので、外部磁界を変化させた場合に、この合体した強磁性層は、第1の強磁性層であるCo層3よりも磁化方向が変化し易い。

【0082】このため、印加磁界を変化することにより、両方の強磁性層3、6の磁化方向に角度差が生じ磁気抵抗変化が生じ、磁界検出素子として印加磁界の変化に基づく出力が電圧の変化として得られる。ここでは、絶縁層5の膜厚は0.89nmであり、磁気抵抗変化率は28%であった。また、この試料においても、前述の、絶縁層における未反応の金属元素比率（ここではAl）は、1%以下であった。

【0083】また、第1の磁性層3と第2の磁性層6との間の電気抵抗は、Ru層4を設けない比較例では100kΩμm<sup>2</sup>であったのに対し、本実施例では8kΩμm<sup>2</sup>と1/13に激減した。信号対雑音比（S/N）は比較例の2.1倍であった。

【0084】なお、貴金属層4としてRu層を用いたが、その他の貴金属としてAu、Pt、Pd、Rh、Irを用いても同様の効果が見られた。

【0085】また、ここでは絶縁層5としてAl膜を酸化した酸化アルミニウム（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）層を用いたが、Mg膜を酸化した酸化マグネシウム（MgO）層、さらにはAlとMgの合金膜を酸化した絶縁層であっても、上記酸化アルミニウム層の場合とほぼ同様の結果が得られた。

【0086】〈実施例4〉図5は、基本的には実施例1のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子と同一構造であるが、第2の磁性層6と絶縁層5との間に実施例3と同様の分極率の高い磁性層であるCo層61（膜厚2nm）を介挿した。強磁性層に対する絶縁層5の接触面積は1.5μm×1.5μmである。この再生用磁気ヘッドの抵抗値は1.4kΩであり、これに基づく熱雑音は、磁気抵抗変化率との関係から問題とならないことが確認できた。

【0087】〈実施例5〉実施例1～4で述べた本発明の磁気抵抗効果型磁気ヘッドを用いて磁気ディスク装置を作製した。装置の構造の要部を65に示す。図6（a）は平面図であり、図6（b）は図6（a）のA-A'断面図である。

【0088】磁気記録媒体駆動部52により回転する磁気記録媒体51には、Co-Cr系合金からなる磁性材料を用いた。磁気ヘッド駆動部54により保持された磁気ヘッド53のトラック幅は1μmとした。この磁気ヘッド53の再生部には実施例1～4で示した本発明の磁

気抵抗効果型磁気ヘッドが搭載されている。

【0089】本発明の磁気抵抗効果型磁気ヘッドを用いた磁気記録再生装置では、高い出力の再生信号が観測された。これは、本発明で用いた多層膜の磁気抵抗変化量が大きいためである。また、ノイズも比較的小さかった。これは、本発明の磁気抵抗効果型ヘッドのS/Nが20以上であるためである。

【0090】

【発明の効果】以上説明したように、本発明により所期の目的を達成することができた。すなわち、本発明のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子は、高い磁気抵抗変化率を維持しながら、電気抵抗が低く、かつ高いS/N特性が得られるので、高感度の磁界検出素子の実現を可能とする。特に電気抵抗が低いと、これを磁気ヘッドに適用すれば、従来の磁気ヘッドの駆動回路が使用できるため容易に高記録密度に対応した磁気ヘッドが実現できる。したがって、高記録密度の磁気記録再生装置が得られ、産業の発展に貢献できるところ多大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子の基本構造を模式的に示した断面図。

【図2】本発明の一実施例となるトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子を模式的に示した断面図。

【図3】本発明の一実施例となる磁界検出素子における電流密度と電圧の関係を示すグラフ。

【図4】本発明の他の実施例となるトンネル磁気抵抗効果型磁界検出素子を模式的に示した断面図。

【図5】本発明の一実施例となる再生用磁気ヘッドの断面図。

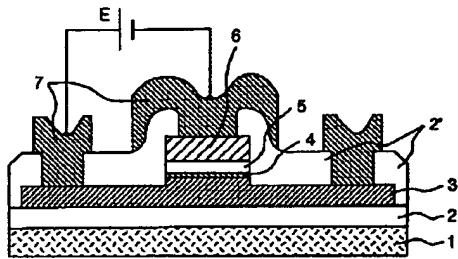
【図6】本発明の磁気ディスク装置の要部構造を模式的に示した説明図。

【符号の説明】

- 1…基板、
- 2…熱酸化層、
- 2'…絶縁体（SiO<sub>2</sub>）、
- 3…第1の強磁性層、
- 4…貴金属層、
- 5…絶縁層、
- 6…第2の強磁性層、
- 61…分極率の高い磁性層、
- 7…電極、
- 8…反強磁性層、
- E…定電圧電源。

【図1】

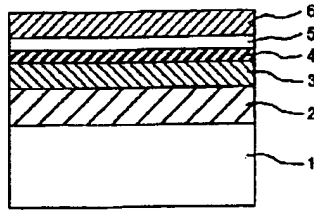
図 1



1…基板 2…絶縁化層 2'…絶縁体 (SiO<sub>2</sub>)  
 3…第1の強磁性層 4…貴金属層 5…絶縁層  
 6…第2の強磁性層 61…分極率の高い磁性層  
 7…電極 8…反強磁性層 E…定電圧電源

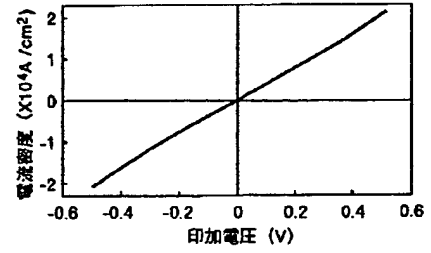
【図2】

図 2



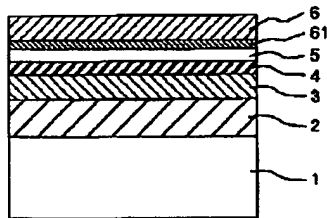
【図3】

図 3



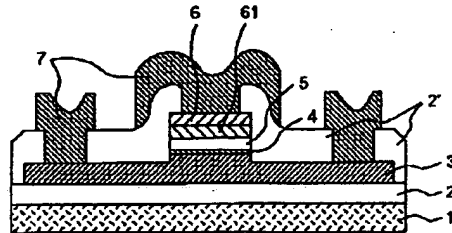
【図4】

図 4

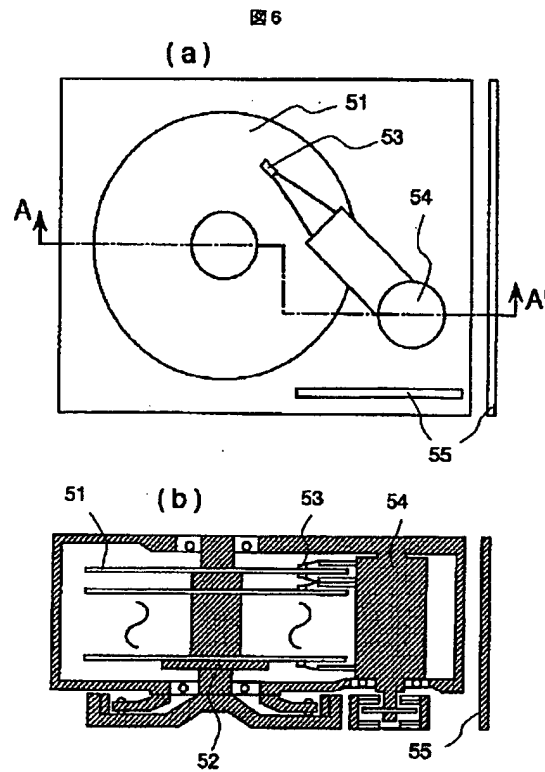


【図5】

図 5



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 清水 昇  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

Fターム(参考) 5D034 BA03 BA15 BA17 BA18 BA21  
CA04 DA07

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it contains a valid OMB control number.

Substitute for form 1449B/PTO		<b>Complete if Known</b>	
<b>INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT</b>  (use as many sheets as necessary)		<b>Application Number</b>	Unassigned
		<b>Filing Date</b>	April 14, 2004
		<b>First Named Inventor</b>	S. Parkin
		<b>Group Art Unit</b>	Unassigned
		<b>Examiner Name</b>	Unassigned
<b>Sheet</b>	3	<b>of</b>	5
		<b>Attorney Docket Number</b>	ARC920030057US2

<b>OTHER PRIOR ART -- NON PATENT LITERATURE DOCUMENTS</b>			
Examiner Initials*	Cite No. <sup>1</sup>	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc.), date, page(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published	T <sup>2</sup>
		M. Julliere, "Tunneling Between Ferromagnetic Films", Physics Letters, Vol. 54A, Number 3, September 8, 1975, pp. 225-226.	
		R. Meservey et al., "Spin-Polarized Electron Tunneling", Physics Reports (Review Section of Physics Letters) Vol. 238, No. 4, 1994, pp. 173-243.	
		J. S. Moodera et al., "Large Magnetoresistance at Room Temperature in Ferromagnetic Thin Film Tunnel Junctions", Physical Review Letters, Vol. 74, No. 16, April 17, 1995, pp. 3273-3276.	
		T. Miyazaki et al., "Giant magnetic tunneling effect in Fe/A12O3/Fe junction", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 139, 1995, pp. L231-L234.	
		D. J. Keavney et al., "Perpendicular conductance and magnetic coupling in epitaxial Fe/MgO/Fe(100) trilayers", J. Appl. Phys., Vol. 81, No. 2, January 15, 1997, pp. 795-798.	
		P. K. Wong et al., "High conductance magnetoresistive tunnel junctions with multiply oxidized barrier", Journal of Applied Physics, Vol. 83, No. 11, June 1, 1998, pp. 6697-6699.	
		E. Y. Tsymlal et al., "Spin-polarized electron tunneling across a disordered insulator", Physical Review B, Vol. 58, No. 1, July 1, 1998-I, pp. 432-437.	
		S.S.P. Parkin et al., "Exchange-biased magnetic tunnel junctions and application to nonvolatile magnetic random access memory (invited)", J. of Applied Physics, Vol. 85, No. 8, April 15, 1999, pp. 5828-5833.	
		K. Aoshima et al., "Thermal deterioration mechanism of CoFeB/PdPtMn Spin valves", J. of Applied Physics, Vol. 85, No. 8, April 15, 1999, pp. 5042-5044.	
		Ph. Mavropoulos et al., "Complex Band Structure and Tunneling through Ferromagnet/Insulator/Ferromagnet Junctions", Phys. Review Letters, Vol. 85, No. 5, July 31, 2000, pp. 1088-1091.	
		D. J. Monsma et al., "Spin polarization of tunneling current from ferromagnet/A12O3 Interfaces using copper-doped aluminum superconducting films", Applied Physics Letters, Vol. 77, No. 5, July 31, 2000, pp. 720-722.	

<b>Examiner Signature</b>		<b>Date Considered</b>	
---------------------------	--	------------------------	--

\*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant.

<sup>1</sup> Applicant's unique citation designation number (optional). <sup>2</sup> Applicant is to place a check mark here if English language Translation is attached.

Burden Hour Statement: This form is estimated to take 2.0 hours to complete. Time will vary depending upon the needs of the individual case. Any comments on the amount of time you are required to complete this form should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC 20231. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Assistant Commissioner for Patents, Washington, DC 20231.

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it contains a valid OMB control number.

Substitute for form 1449B/PTO				<b>Complete if Known</b>	
<b>INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT</b>  (use as many sheets as necessary)				Application Number	Unassigned
				Filing Date	April 14, 2004
				First Named Inventor	S. Parkin
				Group Art Unit	Unassigned
				Examiner Name	Unassigned
Sheet	4	of	5	Attorney Docket Number	ARC920030057US2

OTHER PRIOR ART -- NON PATENT LITERATURE DOCUMENTS			
Examiner Initials	Cite No. <sup>1</sup>	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc.), date, page(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published	T <sup>2</sup>
		X.-F. Han et al., "Fabrication of high-magnetoresistance tunnel junctions using Co75Fe25 ferromagnetic electrodes", Applied Physics Letters, Vol. 77, No. 2, July 10, 2000, pp 283-285.	
		H. Xi, "Annealing Effect on Exchange Bias in Ni81Fe19/Cr50Mn50 Bilayers", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 5, September 2000, pp. 2644-2646.	
		S. Cardoso et al., "High thermal stability tunnel junctions", Journal of Applied Physics, Vol. 87, No. 9, May 1, 2000, pp. 6058-6060.	
		S. Cardoso et al., "Spin-tunnel-junction thermal stability and interface interdiffusion above 300 C", Applied Physics Letters, Vol. 76, No. 5, January 31, 2000, pp. 610-612.	
		M. Takiguchi et al., "Thermal degradation of spin valve multilayers caused by Mn Migration", Journal of Applied Physics, Vol. 87, No. 5, March 1, 2000, pp. 2469-2471.	
		H.L. Meyerheim et al., "Geometrical and Compositional Structure at Metal-Oxide Interfaces: MgO on Fe(001)", Physical Review Letters, Vol. 87, No. 7, August 13, 2001, pp. 076102-1 through 076102-4.	
		M. Bowen et al., "Large magnetoresistance in Fe/MgO/FeCo(001) epitaxial tunnel junctions on GaAs(001)", Applied Physics Letters, Vol. 79, No. 11, Sept. 10, 2001, pp. 1655-1657.	
		W. Wulfhekel et al., "Single-crystal magnetotunnel junctions", Applied Physics Letters, Vol. 78, No. 4, Jan. 22, 2001, pp. 509-511.	
		W. H. Butler et al., "Spin-dependent tunneling conductance of Fe/MgO/Fe sandwiches", Physical Review B, Vol. 63, Jan. 8, 2001, pp. 054416-1 through 054416-12.	
		Y. Kim et al., "Magnetoresistance and interlayer diffusion in PtMn spin valves upon postdeposition annealing", J. of Applied Physics, Vol. 89, No. 11, June 1, 2001, pp. 6907-6909.	
		S. Yuasa et al., "Spin-Polarized Resonant Tunneling in Magnetic Tunnel Junctions", Science, Vol. 297, July 12, 2002, pp. 234-237.	

Examiner Signature		Date Considered	
--------------------	--	-----------------	--

\*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant.

<sup>1</sup> Applicant's unique citation designation number (optional). <sup>2</sup> Applicant is to place a check mark here if English language Translation is attached.

Burden Hour Statement: This form is estimated to take 2.0 hours to complete. Time will vary depending upon the needs of the individual case. Any comments on the amount of time you are required to complete this form should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC 20231. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Assistant Commissioner for Patents, Washington, DC 20231.

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it contains a valid OMB control number.

Substitute for form 1449B/PTO				<b>Complete if Known</b>	
<b>INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT</b>  (use as many sheets as necessary)				Application Number	Unassigned
				Filing Date	April 14, 2004
				First Named Inventor	S. Parkin
				Group Art Unit	Unassigned
				Examiner Name	Unassigned
Sheet	5	of	5	Attorney Docket Number	ARC920030057US2

OTHER PRIOR ART -- NON PATENT LITERATURE DOCUMENTS			
Examiner Initials	Cite No. <sup>1</sup>	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc.), date, page(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published	T <sup>2</sup>
		E. Popova et al., "Epitaxial MgO layer for low-resistance and coupling-free magnetic tunnel junctions", Applied Physics Letters, Vol. 81, No. 6, August 5, 2002, pp. 1035-1037.	
		M. Tsunoda et al., "60% magnetoresistance at room temperature in Co-Fe/Al-O/Co-Fe tunnel junctions oxidized with Kr-O <sub>2</sub> plasma", Appl. Phys. Letters", Vol. 80, No. 17, April 29, 2002, pp. 3135-3137.	
		X.-G. Zhang et al., "Effects of the iron-oxide layer in Fe-FeO-MgO-Fe tunneling junctions", Physical Review B, Vol. 68, 2003, pp. 092402-1 through 092402-4.	
		S. Mitani et al., "Fe/MgO/FeCo(100) epitaxial magnetic tunnel junctions prepared by using in situ plasma oxidation", Journal of Applied Physics, Vol. 93, No. 10, May 15, 2003, pp. 8041-8043.	
		J. Faure-Vincent et al., "High tunnel magnetoresistance in epitaxial Fe/MgO/Fe tunnel junctions", Applied Physics Letters, Vol. 82, No. 25, June 23, 2003, pp. 4507-4509.	
		M. Zwierzycki et al., "Spin injection through an Fe/InAs interface", Physical Review B, Vol. 67, 2003, pp. 092401-1 through 092401-4.	
		D. Smith et al., "Structural characterization of thin film ferromagnetic tunnel junctions", Journal of Applied Physics, Vol. 83, No. 10, May 15, 1998, pp. 5154-5158.	
		J. Mathon et al., "Theory of tunneling magnetoresistance of an epitaxial Fe/MgO/Fe (001) junction", Physical Review B, Vol. 63, pp. 220403-1 through 220403-4.	
		M. Klaua et al., "Growth, structure, electronic, and magnetic properties of MgO/Fe(001) bilayers and Fe/MgO/Fe(001) trilayers", Physical Review B, Vol. 64, pp.134411-1 through 134411-8.	

Examiner Signature		Date Considered	
--------------------	--	-----------------	--

\*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant.

<sup>1</sup> Applicant's unique citation designation number (optional). <sup>2</sup> Applicant is to place a check mark here if English language Translation is attached.

Burden Hour Statement: This form is estimated to take 2.0 hours to complete. Time will vary depending upon the needs of the individual case. Any comments on the amount of time you are required to complete this form should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC 20231. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Assistant Commissioner for Patents, Washington, DC 20231.